直接甲醇燃料电池的单电池实验测试及性能优化

魏永生[1]，朱红[2]，郭玉宝[1]，郭志军[1]，张新卫[1]

(1.北京交通大学理学院，北京100044；2.北京化工大学理学院，北京100029)

摘要：以新型阻醇材料$Na_2Ti_3O_7$/Nafion复合膜为质子交换膜，利用热压法制备膜电极(MEA)，对直接甲醇单电池进行测试。考察了电池温度、阴极加湿温度、甲醇浓度、甲醇流速和空气流速5个参数对直接甲醇燃料电池极化曲线性能的影响。实验结果表明，电池温度对电池性能的影响较为明显，提高电池温度有利于得到较好的电池性能。甲醇浓度对电池性能影响也比较明显，较低甲醇浓度有利于提高电池性能。甲醇流速和空气流速对电池性能的影响较小，阴极加湿温度对电池性能几乎没有影响。通过分析优化，该直接甲醇燃料电池的电池性能最佳工作条件是在80℃情况下，低电流密度工作区采用较低浓度甲醇溶液，高电流密度工作区采用高浓度甲醇溶液。

人类进入21世纪以来，全球性能源短缺问题日趋突出，急切寻求洁净而又可再生的新能源。燃料电池正是以其高效和清洁的特点，适应了可持续发展的要求，因此受到国内外越来越广泛的重视。燃料电池与常规动力技术相比，具有能量转换效率高、燃料多样化、噪声低、环境友好、既可分散供电也可集中供电等突出的优越性，已被公认为是首选的洁净、高效的新能源动力技术，是当今世界新能源研究的热点之一。

直接甲醇燃料电池(Direct Methanol Fuel Cell，DMFC)是直接利用甲醇水溶液作为燃料的一种质子交换膜燃料电池，除具有质子交换膜燃料电池已有特点外，还具有体积小、重量轻、系统结构简单、能量密度高，燃料来源丰富、价格低廉，储存携带方便，安全性高的特点。能够长时间连续提供电能、更换燃料方便，因此，在手机、笔记本电脑、摄像机、掌上电脑、游戏机、音乐播放器以及医疗装置系统等小型民用电源、航天器电源、微电子机械系统电源等方面，可以大范围满足便携式电子设备日益提高的能耗需求，最有可能补充和替代目前广泛使用的蓄电池、锂离子电池，成为理想的动力电源，具有难以估量的商业潜力。

甲醇透过质子交换膜的问题是直接甲醇燃料电池技术发展面临的重要挑战之一，为开发比现有全氟磺酸膜性能更好的阻醇膜，人们采用各种技术和方法来改善全氟磺酸膜和烃类质子交换膜的性能，包括：杂化、共混、酸基络合、辐射-接枝和等离子体刻蚀等，以满足DMFC实际应用的要求。在这些众多的技术中，都取得了有益的结果，但这些技术都有一个共同的缺陷：以牺牲质子交换膜的某一性能(如机械性能、质子传导性能或成本)来提高膜的阻醇性能。

本文作者采用实验室自合成的新型阻醇膜材料Na2Ti3O7/Nafion复合膜，对该种阻醇膜的单电池性能进行测试，从电池温度、甲醇浓度、甲醇流速、空气流速和加湿温度等方面对燃料电池操作条件进行分析、优化，从而找到合适的操作条件参数。

1实验部分

单电池性能测试之前，首先将待测复合膜利用热压法制成为直接甲醇燃料电池用的膜电极，然后将其组装到单电池里面，最后进行电池性能的各项性能测试。

1.1膜电极(MEA)制备

1)准备好待测试的阻醇膜和电极材料，其中阳极催化剂为Pt/Ru担载量4mg/cm2；阴极催化剂为Pt担载量4mg/cm2。

2)开启压膜机系统，设置加热温度在120℃。

3)按照阳极在下面，膜样品在中间，阴极在上侧的顺序，依次摆放好，即待压制的MEA。

4)用两块金属板将待压制的MEA夹紧，将其送入到压膜机的中心位置，使压膜机两侧轻轻接触金属板。此时压膜机温度会下降并发生波动，待其平衡稳定后方可用以测试。

5)压膜机温度稳定后，对待压MEA加压，保持在p=6.8MPa位置持续120s，然后释压。

6)将压制好的MEA取出，自然冷却至室温。

1.2单电池组装及性能测试方法

1)准备好安装单电池的全部组件和待测试的MEA。

2)将金属夹板、金属电板、集流板、绝缘垫、MEA从下到上依次按照从阳极到阴极的顺序组装好。

3)连接好11根管线，阴阳极进料口、出料口、加热棒、电压线、电流线和温度测试线。

4)配制好甲醇溶液，准备好空气源，通入进料并活化新制燃料单电池。

5)待新电池性能稳定后，测试V-I极化曲线。

2结果与讨论

2.1电池温度

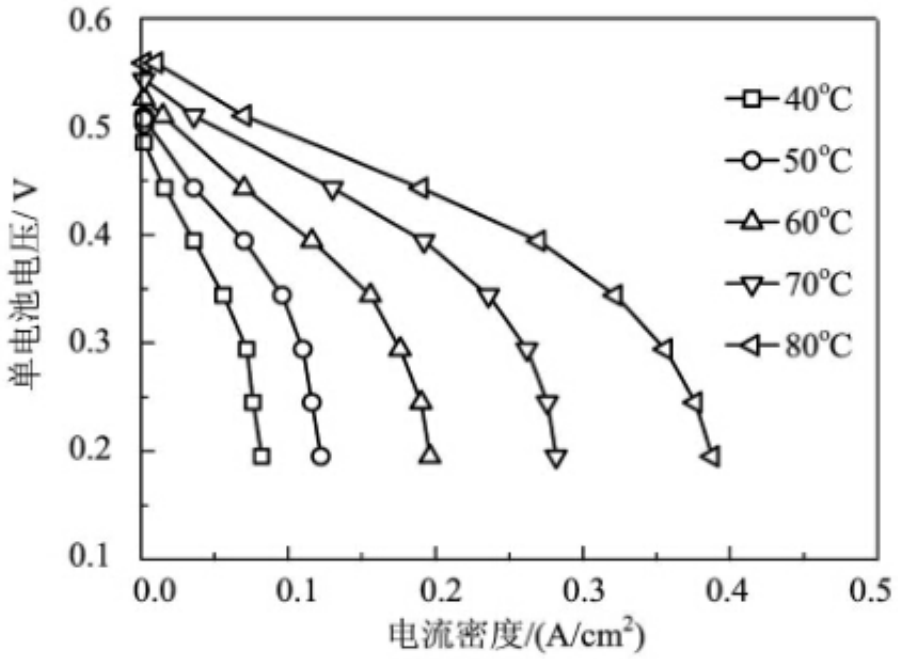
本文做了一系列实验来考察燃料电池温度对$Na_2Ti_3O_7$/Nafion复合膜单电池性能的影响。

在阳极进口处的甲醇浓度分别为0.5、1、2、4、6mol/L时，总的来说，单电池性能与电池温度成同向增长关系。

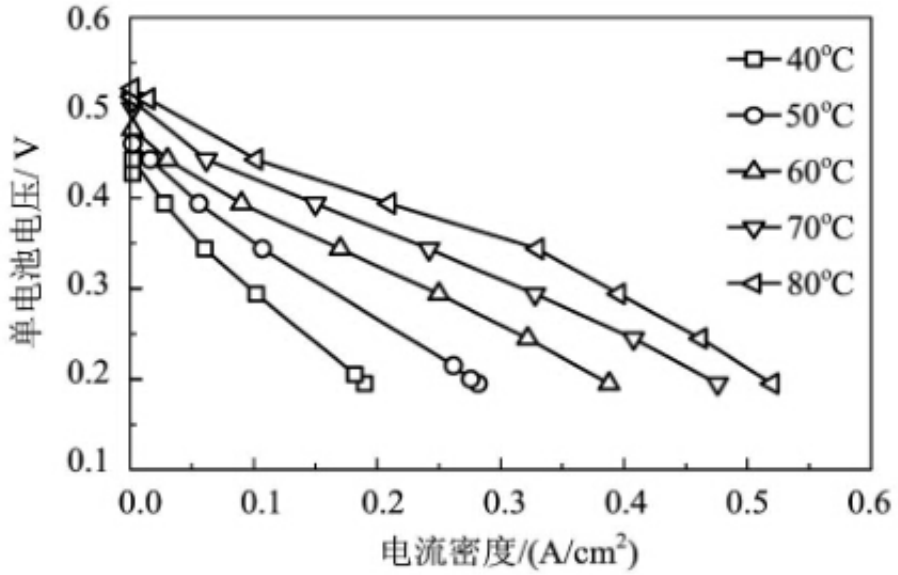
从图1可以看出，随着电池温度的升高，电池性能也随之提高。同时，发现电池温度的升高在一定程度上提高了单电池的开路电压。

例如图1(a)在80°C时，开路电压是0.56V，而40°C仅有0.48V。在低压区，例如0.2V时，电流密度受到电池温度影响很大。1mol/L时，电流密度从40°C时候的.08A/cm^{2}增加到80°C时的0.39A/cm^2；2mol/L时，电流密度从40°C时候的0.18A/cm^{2}增加到80°C时的0.525A/cm^2；这说明温度的提高改善了电池反应动力和速率，提高了电池效率。

因此，电池温度对其是正作用影响，在高温区70°C、80°C时电池性能相对较好。



(a) 甲醇浓度为 1 mol/ L 时的单电池性能



(b) 甲醇浓度为 2 mol/ L 时的单电池性能

图 1　电池温度对单电池性能的影响

Fig. 1　Effect of cell temperature on fuel cell performance

2.2阴极加湿温度

阴极加湿温度对于质子交换膜燃料电池来说是非常重要的一个操作参数，我们研究了阴极加湿温度对直接甲醇燃料电池的影响作用。从图2(甲醇浓度为1mol/L)的结果可以看到，随着阴极加湿温度的升高，燃料电池性能是下降的，这可能是由于甲醇燃料中，甲醇溶液通过复合膜渗透到阴极，从而产生部分水淹，在阴极加湿加剧水淹对电池性能的影响。

因此，阴极加湿温度对直接甲醇燃料电池来说的影响是微乎其微的，可以忽略。

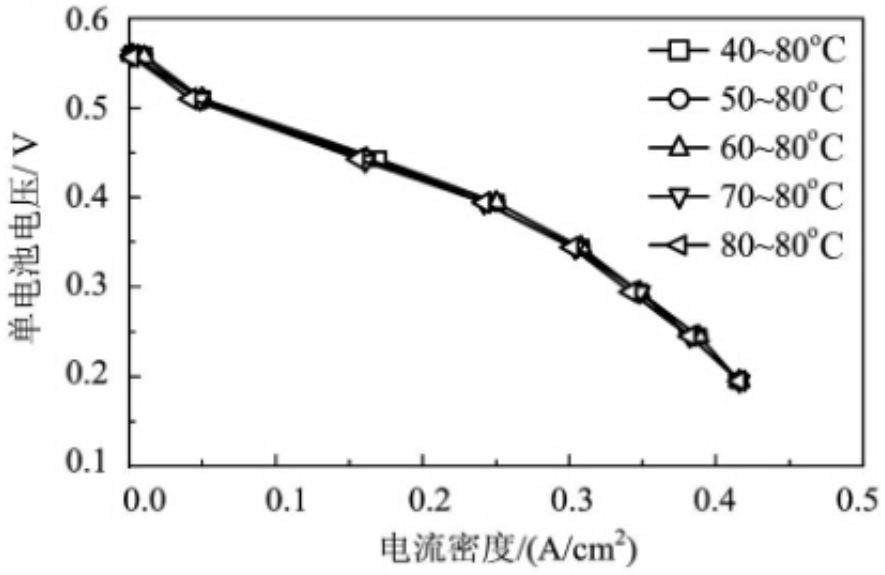
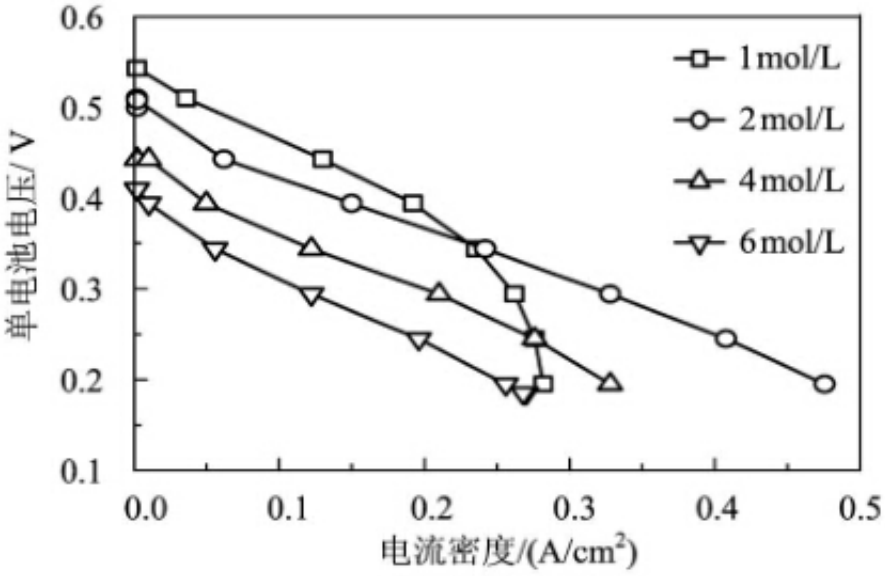


图 2　阴极加湿温度对单电池性能的影响

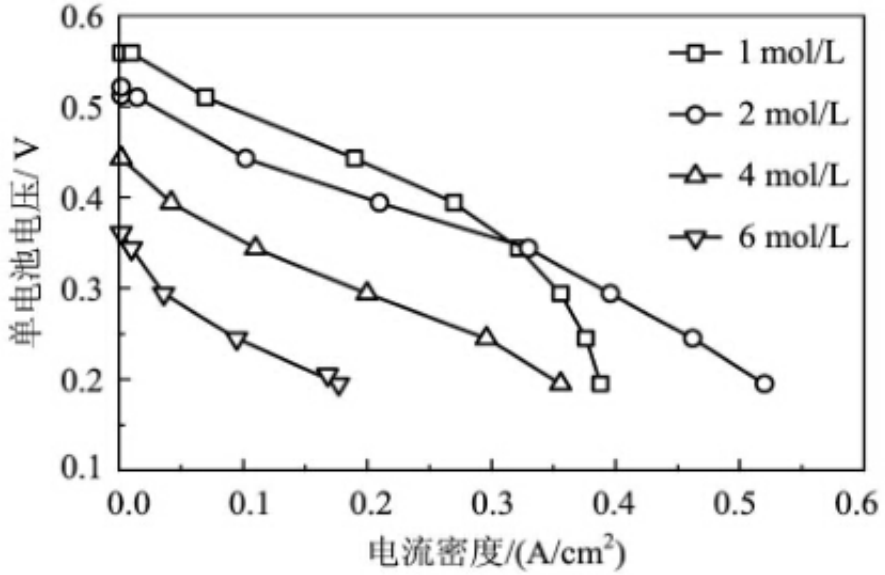
Fig. 2　Effect of humidification temperature of cathode on fuel cell performance

2.3甲醇浓度

阳极进料甲醇溶液的浓度是影响直接甲醇燃料电池性能的另外一个重要参数。我们主要考察了甲醇溶液浓度在1、2、4、6mol/L时对电池性能的影响。实验结果图3所示，从图中可以看到，甲醇溶液浓度的增大会降低燃料电池的性能，这主要是由于甲醇溶液浓度增大后，甲醇透过率也变大，削弱了阴极催化剂的反应性能，从而影响了电池的阴极性能。我们还发现，甲醇溶液浓度的增加还会降低电池的开路电压。另一方面，甲醇溶液浓度为1mol/L时的电池性能极化曲线呈现变形，并且在高电流密度区出现快速下降。因此，在高电流密度区尽量采用高浓度甲醇，在低电流密度区，采用低浓度甲醇溶液。例如在图3(b)，在低电
流密度区小于0.3A/cm^{2}应该采用1mol/L甲醇溶液，高电流密度区大于0.3A/cm^{2}采用2mol/L甲醇溶液。



(a) 电池温度为 70 ℃时的单电池性能



(b) 电池温度为 80 ℃时的单电池性能

图 3　甲醇浓度对电池性能的影响

Fig. 3　Effect of methanol conception on fuel cell performance

2.4甲醇流速

为考察甲醇溶液的流速对燃料电池性能影响，我们做了一系列实验。甲醇溶液流速从1mL/min到12mL/min不等5组对比实验，极化曲线结果如图4所示。从图4结果可以得到，当电池阳极进口处的甲醇溶液流速从1到12mL/min逐渐增加时，燃料电池性能反而下降。这主要是因为当增加甲醇溶液流速时，单位时间内从阳极渗透到阴极的甲醇量也会增加，甲醇溶液会覆盖阴极催化剂，影响阴极催化反应；同时，甲醇在阴极发生副反应，降低电池两端电位。其综合作用导致了燃料电池性能的下降。因此，在实验时尽量采用相对较低的甲醇溶液流速。总的来说，甲醇流速对电池性能有微弱的影响。

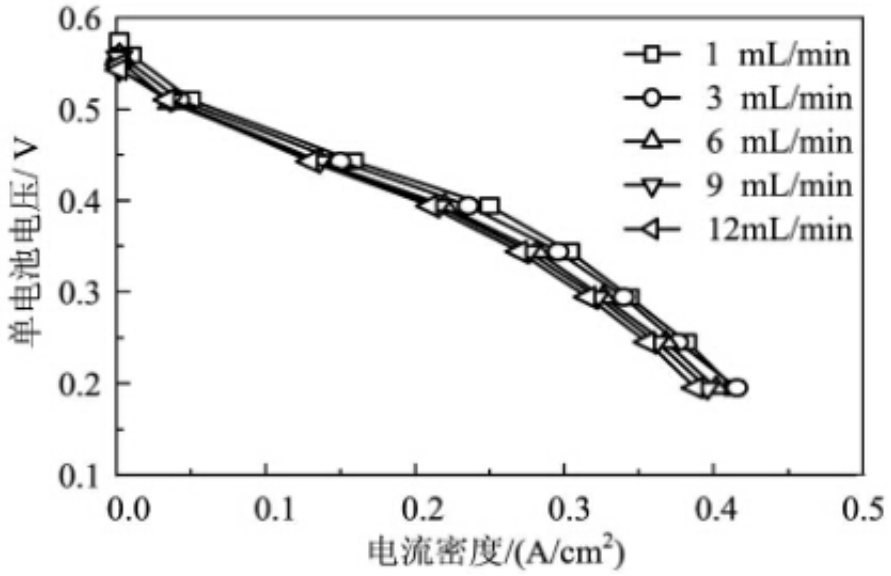


图 4　甲醇流速对电池性能的影响

Fig. 4　Effect of methanol flow rate on fuel cell performance

2.5空气流速

图5所示的是阴极进口处空气流速对燃料电池性能的影响。从图5可以看到，随着空气流速的增快，燃料电池性能有所提高，但是增加幅度不大。这主要是由于随着空气流速的增快，氧气量也增加，从而提高了阴极反应速率，提高阴极的性能。所以，在燃料电池中一般尽量采取较高的空气流速。在我们的实验中，600mL/min以上的流速对于增加电池性能的空间很小，一般采用600mL/min的空气流速。

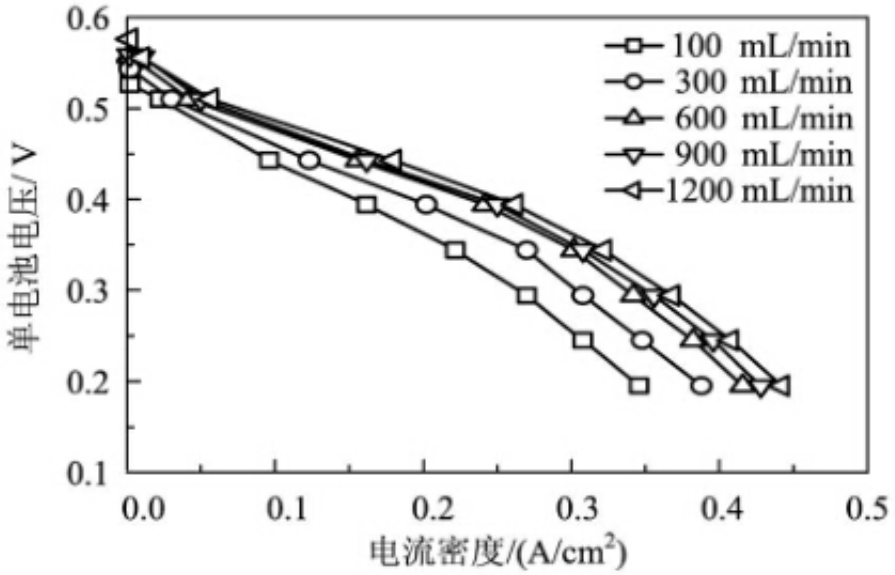


图 5　空气流速对电池性能的影响

Fig. 5　Effect of air flow rate on fuel cell performance

2.6参数优化

通过以上实验，可以看到电池温度、阴极加湿温度、甲醇浓度、甲醇流速和空气流速5个操作条件参数对直接甲醇燃料电池的性能影响程度是不同的。

按照影响程度的不同，可以分为3类参数，一是影响较为明显的参数；二是对电池性能有影响但是影响较微弱的参数；三是对电池性能几乎无影响的参数。

按照这种参数分类原则，电池温度和甲醇浓度是第1类参数，甲醇流速和空气流速是第2类参数，阴极加湿温度属于第3类参数。

我们对电池性能影响较大的第1类参数进行优化，即较高温度和较低浓度的电池性能极化曲线进行对比分析，结果见图6。电池性能最高的是80°C情况下，甲醇溶液浓度在1mol/L和2mol/L的时候。因此，我们的实验条件下的优化结果是在80°C情况下，低电流密度区采用较低浓度甲醇溶液，高电流密度区采用高浓度甲醇溶液。

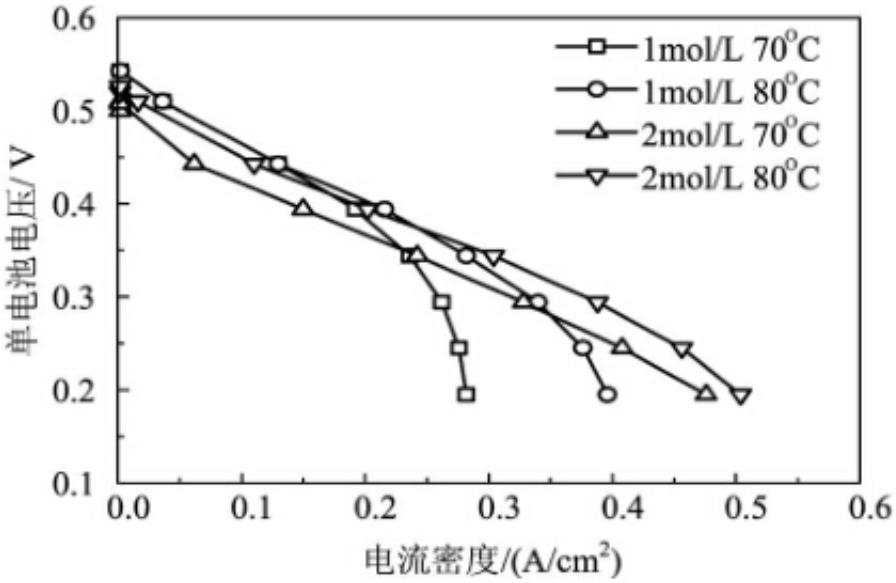


图 6　燃料电池性能优化方案

Fig. 6　Optimization solution of direct methanol fuel cell performance

3结论

通过热压法制备了直接甲醇燃料电池MEA，并将其组装直接甲醇燃料电池进行极化曲线性能测试。主要考察了电池温度、阴极加湿温度、甲醇浓度、甲醇流速和空气流速5个操作参数对燃料电池性能的影响。实验结果表明，电池温度和甲醇浓度对直接甲醇燃料电池的影响比较明显，阴极加湿温度对燃料电池性能几乎没有影响。我们对直接甲醇燃料电池性能影响明显的参数进行分析优化，结论是优化结果是在80°C情况下，低电流密度工作区采用较低浓度甲醇溶液，高电流密度工作区采用高浓度甲醇溶液。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/102678.html